

МИХАЙЛОВ АЛЬБЕРТ АЛЕКСАНДРОВИЧ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ
ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ СИГНАЛОВ
С ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С АКТИВНЫМ ОТВЕТОМ

Специальность 05.12.04: Радиотехника, в том числе системы и устройства
радионавигации, радиолокации и телевидения

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Работа выполнена в Казанском научно-исследовательском институте радиоэлектроники.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Маливанов Николай Николаевич

Научный консультант - доктор технических наук,
профессор Ильин Герман Иванович

Официальные
оппоненты - доктор технических наук,
профессор Лебедев Евгений Константинович,
доктор физико-математических наук,
профессор Надеев Адель Фиратович

Ведущая организация - ФГУП «РАДИОПРИБОР»

Защита состоится « 9 » 02 2008г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.04 при Казанском государственном техническом университете имени А.Н. Туполева по адресу: 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технического университета имени А.Н.Туполева

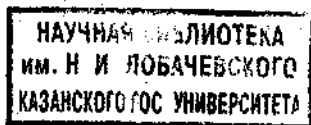
Автореферат разослан « 29 » XII 2003г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000017082

Ученый секретарь диссертационного совета
к.т.н., доцент



В.А.Козлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Радиолокационные системы активного запроса и ответа (САЗО), к которым относятся системы управления воздушным движением, системы предотвращения столкновений самолетов, дальномерные системы и навигационные системы, получили в настоящее время широкое развитие. С их помощью производится определение бортового номера самолета, высоты полета, запаса горючего на борту, кроме этого производится управление движением самолетов на трассах и в аэродромной зоне. Такого рода системы относятся к многоканальным асинхронным импульсным радиосистемам (АИРС) с многочисленной территориально рассредоточенной запросной и ответной аппаратурой.

Разработке теории АИРС посвящены труды Лившица А.Р., Биленкс А.П., Бенедиктова М.Д., Маркова В.В., Эйдуса Г.С., Чабдарова Ш.М., Романова И.М., Нежметдинова Т.К. и их учеников.

Качество таких систем, в основном, характеризуется помехозащищенностью от внутрисистемных и умышленных помех, пропускной способностью, дальностью связи, разрешающей способностью по дальности и азимуту.

Радиоприемные устройства, являющиеся наиболее ответственным звеном систем САЗО должны отвечать ряду требований: обеспечения динамического диапазона принимаемых сигналов, чувствительности, полосы пропускания, избирательности, надежности в работе, компактности и др.

Кроме этого требуется выполнение и специфических требований для получения приемлемых системных показателей, а именно, обеспечение допустимого уровня ложных тревог при обеспечении требуемой вероятности правильного приема.

В условиях функционирования САЗО, когда большое количество передатчиков и приемников движется друг относительно друга, точная информация о частоте и тем более о фазе в точке приема отсутствует.

Одной из особенностей САЗО является большой динамический диапазон входных сигналов. С увеличением уровня входных сигналов может происходить расширение длительности импульсов и изменение его, положения. Исследованиями автора на основе экспериментальных данных показано, что в отдельных случаях длительность может увеличиться в 2-3 раза, что увеличивает вероятность наложения импульсов и нестабильность переднего фронта сигнала.

Применение ЧВК (частотно-временного кодирования) обусловлено преимуществом ЧВК перед ИВК (импульсно-временным кодированием), заключающемся в большем числе кодовых слов на одной временной базе, или при одинаковом числе кодовых слов меньшей временной базой. Преимущество ЧВК перед ИВК заключается еще и в повышении имитостойкости, так как имитировать сигнал на двух и более частотах сложнее, чем на одной.

Выбор частот ЧВК с одной стороны требует их разнеса по частоте, а с другой стороны ограничен выделенным диапазоном частот. Чем ближе частоты, тем больше вероятность прохождения сигнала из одного канала в другой. Чем шире разнос частот, тем больше полоса пропускания УПЧ, тем больше требуется каскадов УПЧ для получения приемлемого усиления. Применение ЧВК предусматривает применение ограничителя на выходе УПЧ и узкополосных фильтров для разделения частот. Кроме потери информации об амплитуде, существует опасность потери отдельных импульсов ЧВК из-за подавления слабого сигнала одной частоты сильным сигналом другой частоты при их одновременном приходе в ограничитель, что вызовет сбой обработки правильного кода и что в таких ответственных системах как САЗО крайне нежелательно. Следовательно, разработка методов и средств повышения помехоустойчивости приемных устройств сигналов с частотно-временным кодированием в САЗО является актуальной.

Целью диссертационной работы является разработка методов и средств повышения помехоустойчивости приемных устройств сигналов с частотно-временным кодированием (ЧВК) радиолокационных систем с активным ответом при воздействии сигналов и помех в большом динамическом диапазоне.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- разработка математической модели приема сигнала с частотным разделением с большим динамическим диапазоном при дестабилизации приема комплексом помех;
- разработка методов и средств улучшения характеристик приемного устройства при изменении сигналов и помех в широком динамическом диапазоне;
- внедрение результатов диссертации в реальные приемные устройства.

Методы исследований. Поставленные теоретические задачи в диссертационной работе решены с привлечением теории вероятностей, методов математического анализа и вычислительной математики. Экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях на изделиях, разработанных для серийного производства.

Научная новизна исследований заключается в том, что:

- разработана математическая модель воздействия помех на приемники, определена зависимость от помех вероятности правильного приема сигналов с ЧВК в САЗО с учетом эффекта подавления,
- в результате теоретических и экспериментальных исследований влияния сигналов и комплекса помех, изменяющихся в большом динамическом диапазоне, разработана методика оценки и измерения помех, позволяющая определить суммарный критический уровень помех,

- получены алгоритмы учета влияния помех с анализом влияния схем приемников на характеристики системы, определена принципиальная схема вычислителя вероятности правильного приема сигналов, реализованная в адаптивной САЗО, уточнены методики испытаний на воздействие помех,

- реализованы разработанные принципы стабилизации характеристик приемных устройств (ШАРУ, узкополосный фильтр, подавление боковых лепестков диаграмм направленности антенн - ПБЛ ДНА).

Практическая новизна работы состоит в том, что:

- разработаны принципы стабилизации характеристик приемных устройств (ШАРУ, узкополосный фильтр, ПБЛ),

- разработана методика повышения помехоустойчивости приема при изменений сигналов и помех в большом динамическом диапазоне,

- оценена вероятность подавления сигналов с ЧВК и предложены пути решения этой проблемы в САЗО,

- разработаны и внедрены методы использования эффекта подавления.

Результаты диссертационной работы внедрены в Казанском НИИ радиоэлектроники (КНИИРЭ) в реальные образцы радиолокационной системы.

Апробация работы. Основные результаты и отдельные разделы диссертации докладывались и обсуждались на юбилейной научно-технической конференции в КНИИРЭ (Казань, 82г.), итоговых конференциях КАИ (Казань) и ряде технических совещаний в ведущих научных центрах России.

Публикации. Содержащиеся в диссертации материалы нашли отражение в 24 работах, в том числе, в 11 статьях, 13 авторских свидетельствах, а также отчетах по НИР КНИИРЭ.

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Разработанная математическая модель воздействия помех на приемники с определением зависимости от помех вероятности правильного приема сигналов с ЧВК в САЗО с учетом эффекта подавления.

2. Результаты анализа помехоустойчивости в виде соотношений, учитывающих влияние на вероятность правильного приема схемотехнических особенностей приемников сигналов с ЧВК в САЗО.

3. Разработанные методы учета влияния комплекса помех на вероятность правильного приема сигналов с реализацией в виде вычислителя вероятности правильного приема сигналов (в а.с. № 194470, 151018).

4. Разработанные методы компенсации эффекта подавления при приеме сигналов с ЧВК в САЗО (в а.с. № 144322, 154810, 156169).

5. Разработанные методы использования эффекта подавления для увеличения вероятности правильного приема (в а.с. № 114376, 151165, 155716, з-ка № 3034317).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, списка литературы, включающего 136 наименований, содержит 122 страницы основного текста, 2 таблицы, 20 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы исследований, формулировку цели диссертационной работы и описание структуры диссертации.

В первой главе анализируются особенности применения сигналов с частотно-временным кодированием в САЗО, проблемы и пути их решения.

В этой главе дается описание сигналов с частотно-временным кодированием и их спектральный анализ. Оценивается состояние вопроса обеспечения избирательности по соседнему каналу. Отмечается, что анализ видов подавления сигналов с ЧВК сделан Эйдуsom Г.С., и большой вклад в теорию помехоустойчивости вообще и систем САЗО в частности сделан Чабдаровым Ш.М., Надеевым А.Ф. и их учениками.

Проводится анализ различных видов подавления сигналов и намечаются задачи, которые необходимо решить в последующих главах.

Основные характеристики асинхронной системы связи такие, как пропускная способность и помехоустойчивость определяются во многом выбором параметров сигнала и алгоритмом обработки.

Для ЧВК такими параметрами являются: число, длительность, форма импульсов, число несущих частот, временные сдвиги между импульсами.

В нашем случае речь идет о двоичных сигналах с пассивной паузой, т.е. сигналах дискретных, с конечной длительностью, что усложняет проблему разделения, так как появляются эффекты проникновения сигналов из одного канала в другой, т.е. ухудшаются условия обеспечения избирательности по соседнему каналу из-за довольно широкого спектра импульсов с $\tau_u = (0,5 \div 1 \text{ мксек})$ и большого динамического диапазона сигналов (60-80 дБ).

Для обеспечения избирательности используется метод ШОУ широкополосное усиление - ограничение - узкополосная фильтрация.

Таким образом, при проектировании приемников сигналов ЧВК нужно с одной стороны учитывать необходимость обеспечения избирательности по соседнему каналу в большом динамическом диапазоне сигналов, а с другой - возникновение эффекта подавления в нелинейных каскадах.

Различные варианты компенсации эффекта проникновения спектральных составляющих из одного канала в другой по разным причинам не могут быть применены в системах САЗО, и поэтому метод ШОУ является простым и эффективным способом обеспечения избирательности по соседнему каналу.

Но при этом возникает явление нелинейного подавления слабого сигнала одной частоты сильным сигналом другой частоты.

Кроме нелинейного, подавление может происходить за счет смещения рабочих точек различных элементов приемника: усилителей, ограничителя, детектора (в меньшей мере поскольку он находится после ограничителя амплитуд). Инерционное подавление учитывает скорость восстановления исходного режима. И если она недостаточна, то происходит подавление слабого сигнала даже после того, как кончился сильный. Инерционное подавление больше сказывается в пороговом устройстве, декодере ЧВК, где имеются линии задержки и схема совпадения, а также схемы анализа нулевых и единичных позиций ЧВК, такого рода подавление проявляется при воздействии импульсных и хаотически импульсных помех.

Экспериментальные исследования показали, что подавление слабого сигнала сильным может происходить при очень небольшом различии в мощности сигнала и помехи на входе (1 дБ), так как усилители промежуточных частот имеют очень большое усиление и большое число каскадов, в которых эффект подавления может последовательно увеличиваться, т.е. УПЧ может представлять собой некий распределенный многокаскадный ограничитель.

Таким образом, применение ограничителя в приемнике, а также большой динамический диапазон сигналов (60-80 дБ) и большая плотность потока сигналов в САЗО приводят к возникновению явлений интерференционного, нелинейного, инерционного и энергетического подавления сигналов.

Во второй главе приведена математическая модель функционирования приемных устройств при воздействии сигналов и помех с учетом помех, изменяющихся в большом динамическом диапазоне (шумовых, ХИП, синусоидальных, имитационных) и с учетом схемных особенностей приемников сигналов с ЧВК (автоматическая регулировка усиления по шумам - ШАРУ, построение приемника по схеме ШОУ, стабильности характеристик и др.).

Для систем, использующих сигналы с ЧВК характерно образование ложных сигналов и подавление некоторых полезных, возникающее при смешивании импульсных потоков. При подавлении хотя бы одного импульса сигнала с ЧВК происходит потеря всего сигнала. Подавление происходит при совпадении импульсов разных частот, при длительности совпадения больше определенной величины, при превышении амплитудой мешающего сигнала на величину, достаточную для подавления. Обозначив импульсный поток с частотой X , и длительностью импульсов t и полагая, что поток сигналов (несинхронных) от различных объектов, количество которых N_o , независим получим соотношение для вероятности нелинейного подавления $P_{\text{под}}$ сигналов с ЧВК

$$P_{\text{нел. под}} = 2 N_o \cdot F_3 (N_3 - 1) \tau \left[1 + 2 \cdot \left(\frac{R_{\text{max}} - \Delta R}{R_{\text{max}}} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{R_{\text{max}} - \Delta R}{R_{\text{max}}} \right)^2$$

В этом соотношении F_3 - частота запросов, N_3 - число запросчиков, R_{max} - максимальная дальность действия системы, ΔR - изменение расстояния для различных объектов системы САЗО.

Далее в соотношении для $P_{\text{нел. под}}$ введены дополнения для учета помех, приходящих по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны запросчика с учетом плотности у размещения ответчиков и запросчиков.

Воздействие синхронных помех в отличие от несинхронных на полезные сигналы имеет зависимость от пространственного расположения ответчиков относительно запросчика.

Может оказаться, что $t_3 = t_k$, и произойдет наложение импульсов разных частот. Очевидно, что основным условием одновременного прихода импульсов разных частот двух различных абонентов при одинаковых адресах является равенство задержки t_3 между сигналами временному интервалу t_k , т.е. $t_3 = t_k$, если $\Delta R = R_1 - R_2$ - разница в расстояниях обоих объектов от центральной станции, то без учета разброса времени обработки вызывного сигнала в блоках абонентов $t_3 = \Delta R / C$, где C - скорость света.

Таким образом, $P_{\text{синхр}} = P(t_3 = t_k)$.

Проведенный анализ возможных путей подавления показывает, что особым типом подавления являются нелинейное при совпадении импульсов разных частот, что является специфической проблемой при приеме сигналов с частотно-временным кодированием. В результате подавления любого импульса происходит потеря всего сигнала.

Применение помехи типа хаотически-импульсной на одной или всех частотах увеличивает вероятность сбоя сигнала, т.е. наряду с обычным рассматриваемым подавлением в формирователе дешифратора необходимо учитывать и вероятность нелинейного подавления, которое может быть учтено соотношением для $P_{\text{нел.под}}$, если в нем принять вместо потока λ_{ji} поток импульсов хаотически-импульсной помехи на одной или на всех частотах кода с учетом особенностей воздействия хаотически-импульсных помех.

Если помеха действует по одному из каналов, то в том канале, где частоты помехи и сигнала примерно равны, возможны инерционное и интерференционное подавление, а в канале, где частоты сигнала и помехи разные, так как помеха на частоте соседнего канала, возможно нелинейное подавление.

Таким образом, хотя помеха действует по одному из каналов, ее отрицательное действие проявляется и в другом. И в этом особенность влияния ХИП на приемник с ЧВК.

В случае воздействия синусоидальной помехи на частоте соседнего канала можно считать вероятность совпадения $P_{\text{совп}}=1$ и характер подавления полностью зависит от амплитудных соотношений. Таким образом, в одном канале возможны интерференционные биения, уменьшение длительности, в другом подавление и нелинейное, и за счет смещения рабочей точки.

В последних каскадах приемника может происходить изменение постоянной составляющей, что может привести к изменению рабочих точек, что нежелательно, так как изменяется угол отсечки и уменьшается коэффициент передачи. Особенно чувствительны к перегрузке детекторы, последний каскад УПЧ или ограничитель.

Используя Q-функции Маркума $Q(x,y)$, интеграл Лапласа $\Phi(z)$ получим соотношение для вероятности приема при воздействии синусоидальной помехи

$$P_{\text{пр}} = Q\left(\frac{U_c}{\sigma}, \frac{U_{\text{пор}}}{\sigma}\right) \left[0,5 - 0,5\Phi\left(\frac{\delta f_c}{\sigma_c}\right) \right] \cdot \left[0,5 - 0,5\Phi\left(\frac{\delta f_n}{\sigma_n}\right) \right] \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$$

U_c/σ - отношение сигнал/шум, $U_{\text{пор}}/\sigma$ - порог/шум, $\delta f_c, \delta f_n$ - отличие частот сигнала и помехи от номинальной, σ_c, σ_n - дисперсии отклонений частоты сигнала и помехи, $\Delta\varphi/2\pi$ - вероятность фазовых отличий.

На рис.1 приведены экспериментально снятые зависимости чувствительности приемников при вероятности приема $P_{\text{пр}} = 0,8$. Кривые А, В, Д, соответствуют приемникам без схемы защиты от синусоидальной помехи, но с пропуском постоянной составляющей в ШАРУ.

Можно заметить почти линейную зависимость чувствительности приемника от мощности помехи. Нужно отметить, что перегрузка приемника синусоидальной помехой может быть больше 60 дБ, что ставит ее в ряд наиболее опасных помех для асинхронных адресных систем связи с ЧВК, ШАРУ должно быть чувствительно и к таким помехам, особенно наглядно это демонстрирует график С.

Кривая Е снята у приемника со схемой защиты, включающей в свой состав схемы устранения биений, схему восстановления длительности и схему индикации помехи. Кривые С сняты для сравнения в приемнике с ограничителем и ШАРУ без пропуска постоянной составляющей. Анализ кривой Е показывает выигрыш в помехоустойчивости на участке EFGH (кривая Е) 20-30 дБ.

Из кривых Г очевидно полное подавление одного из приёмников, в котором не пропускается постоянная составляющая в ШАРУ (при помехе на уровне ≈ -100 дБ/Вт). Увеличение сигнала до -40 дБ/Вт не привело к восстановлению приема.

Оценка условий приема должна производиться с формированием всего сигнала с ЧВК и воздействием синусоидальной помехи в одном из каналов на выходе схемы совпадения. При этом учитываются сбои в обоих каналах.

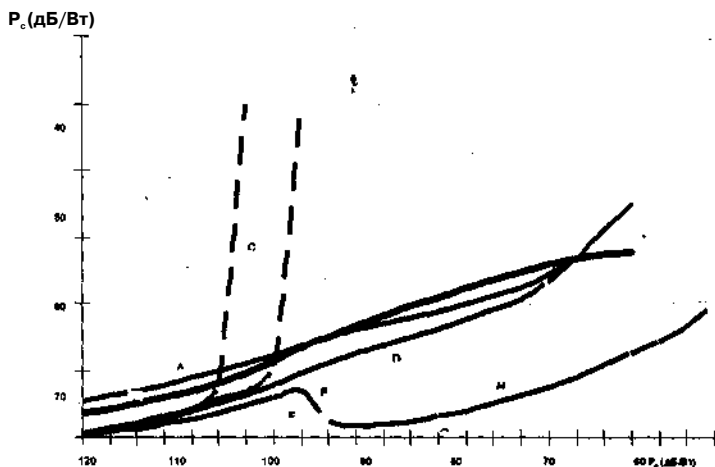


Рис. 1. Зависимость P_c от мощности синусоидальной помехи P_p .

В третьей главе рассматриваются методы восстановления подавленных импульсов, как средство для решения противоречия между необходимостью обеспечения избирательности по соседнему каналу и возникновением подавления в ограничителе и других каскадах приемника.

Рассматриваются также методы использования эффекта подавления для улучшения характеристик приемника.

Рассмотрен адаптивный приемник сигналов с ЧВК и приведена схема вычислителя правильного приема сигналов с ЧВК, как элемента адаптации в помеховой обстановке.

Задача поиска путей восстановления сигналов с частотно-временным кодированием актуальна, поскольку непосредственно связана с получением требуемых разрешающей способности при изменении кодового времени t_k и помехозащищенности от внутрисистемных помех, хаотически-импульсных помех, помех со структурой сигнала и синусоидальных. Пути решения этой задачи могут быть найдены при анализе особенностей условий подавления при приеме таких сигналов. Подавление происходит при наложении импульсов разных частот, поэтому зная расположение объектов излучающих сигналы и t_k , можно прогнозировать ситуации при которых $\Delta t_3 = t_k$, разница в задержках сигнала равна кодовому времени t_k и включать схемы восстановления подавленных импульсов.

Если обычно t_k известно, то Δt_3 , как правило, неизвестно. Для определения Δt_3 можно использовать эхо-сигналы РЛС обнаружения или измерители дальности или задержку ОС.

После проверки эхо-сигналов на равенство относительной задержки $\Delta t_3 = t_k$ вырабатывается расширенный строб, с помощью которого неподдавленный импульс одного канала одновременно вводится и в свой канал и на место подавленного импульса другого канала.

В результате эффект подавления импульса компенсируется введением импульса, полностью соответствующего по форме подавленному. Положительным эффектом является улучшение разрешающей способности и уменьшение потерь при внутрисистемных помехах за счет перестройки (слежения) за изменяющимся t_k и изменяющимся Δt_3 .

Можно произвести восстановление подавленных импульсов с помощью устройств, выделяющих частоту

$$\Delta f = f_2 - f_1 = f_{np1} - f_{np2}$$

При совпадении импульсов разных частот можно выделить разностную частоту Δf в каскадах до ограничителя, т.е. в любом каскаде УПЧ. При этом выделяется частота $\Delta f = f_{np1} - f_{np2}$. Изменение знаков связано с механизмом образования промежуточных частот по соотношению $\Delta f = f_r - f_{1,2}$.

Выделение этой частоты может производиться за счет нелинейности любого каскада или в дополнительном смесителе, затем следует формирование импульса восстановления и его использование при расшифровке всего сигнала.

Автором предложено производить выделение $\Delta f_{1,2} = f_2 - f_1$ на высоких частотах. В этом случае разнос по частоте f_1 и f_2 от $\Delta f_{1,2}$ увеличивается на два порядка, и «просачивание» значительно уменьшено.

На предложенные методы компенсации подавления получены а.с. № 144322, № 154810.

Можно использовать свойства сигналов и особенности работы приемника с ограничителем для целей ПБЛ (подавление приема по боковым лепесткам). Автором предложен новый способ ПБЛ при приеме таких сигналов.

Способ заключается в изменяемой в зависимости от t_k задержки по В.Ч. так, что совмещаются во времени импульсы с разными частотами от разных антенн и далее после преобразования, усиления используется эффект подавления слабого сигнала одной частоты сильным сигналом другой частоты при одновременном приходе их на нелинейный элемент.

На предложенные методы использования эффекта подавления для решения некоторых проблем САЗО получены а.с. № 144376, 176480, 105884 и др.

Адаптивный прием сигналов (выделение на фоне помех) заключается в том, что в приемнике производится измерение и запоминание основных параметров полезных импульсов (несущей частоты, длительности, амплитуды, направления прихода и т.д.).

Затем производится настройка соответствующих селекторов (сравнивающих устройств). При приеме остальной части сигнала происходит выделение выполнивших критерий соответствия импульсов.

Таким образом, улучшение помехоустойчивости может производиться за счет адаптации: по несущей частоте по полосу пропускания (ширина и настройка на несущую), по изменению порога срабатывания, по времени прихода и длительности импульса.

Для проведения этих видов адаптации в асинхронных САЗО есть определенные возможности, связанные с тем, что передатчики имеют разброс частот, т.е. каждый имеет индивидуальный отличительный признак,

При использовании сигналов с ЧВК возможны два варианта адаптивно-частотной селекции. При первом варианте: а) частота первого импульса имеет отклонения по нормальному закону отклонений случайной величины, вторая и последующие частоты жестко привязаны к первой, б) при приеме запоминается частота первого импульса, и проверяются остальные на номинальное смещение частоты. Для повышения помехозащищенности можно использовать метод сравнения частоты после декодирования частотно-временного кода обычным способом, и после срабатывания ДШ пропускать задержанный 1-й импульс и последующие в смеситель частот и сравнивающее частоты устройство и после этого отбраковать импульсы, не выполнившие критерий соответствия по отклонению несущей частоты.

Конечно, в этом случае требуется стабилизация частоты информационных импульсов, например, кварцевая. При втором варианте:

а) передатчик излучает частоты с обычными отклонениями, б) приемник запоминает $\Delta f = f_2 - f_1$ и производит проверку всех остальных сигналов по этому признаку.

Таким образом, обоснован метод адаптивной работы приемника сигналов с ЧВК в САЗО, позволяющий улучшить помехозащищенность, на который получено а.с. № 164648.

Предложены схемные решения устройств, вычисляющих вероятность правильного приема сигналов (а.с. № 194470). В устройствах производится оценка суммарного воздействия помех, отличающихся между собой как по структуре, так и по энергетическим параметрам. При этом устройства не оказывают мешающего воздействия на работу приемника и других блоков САЗО, хотя функционируют в непрерывном режиме.

Проведена оценка необходимой точности измерения шумовой помехи, которая в общем случае зависит от системных параметров, а именно, точности определения момента времени проведения адаптивных регулировок. Достижимая точность определяется как параметрами собственно приемника, так и устройства для автоматической регулировки усиления по шумам. Предложены три метода ее повышения с учетом собственных шумов и воздействия дестабилизирующих факторов.

Обоснована необходимость раздельного учета шумовых, импульсных и имитационных помех, поскольку они по-разному воздействуют на приемник. Шумовые помехи, в основном, уменьшают соотношение сигнал/шум, импульсные помехи вызывают сбои полезных сигналов, имитационные увеличивают загрузку устройств обработки сигналов.

Выявлено преимущество предложенного в а.с. №194470 устройства для учета отрицательного воздействия импульсных помех, в котором производится имитация полезных сигналов особым генератором, смешивание их с помехами, выделенными на выходах приемника и других блоков, и подсчет числа сбоев полезных сигналов. При моделировании конфликтных ситуаций выявилось уменьшение ошибок по 3-4 в каждой.

Проведенный анализ эффективности внедренного метода ПБЛ по а.с. 155716 показал увеличение точности ≈ 6 дБ, и стабильности, поскольку обработка сравниваемых сигналов производится в одном УПЧ, что подтверждается обработкой протоколов приемосдаточных испытаний в части разброса чувствительности приемников при дестабилизирующих факторах. Достаточно различия сигналов в 2-3 дБ (вместо 9-12) для четкого срабатывания схемы ПБЛ.

Результаты исследований внедрены в серийно выпускаемые приемники типа 11-8, 271.02, 4300604, что отражено в актах о практической реализации от 14.10.83, 31.10.84, 1.11.84, 2.07.03.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана математическая модель воздействия помех на приемники, определена зависимость от помех вероятности правильного приема сигналов с ЧВК в САЗО с учетом эффекта подавления.

В результате теоретических и экспериментальных исследований влияния сигналов и комплекса помех, изменяющихся в большом динамическом диапазоне, разработана методика оценки и измерения помех, позволяющая определить суммарный критический уровень помех.

2. На базе предложенных методов исследования свойств приемных устройств показана необходимость применения в приемнике схемы ШОУ (широкополосное усиление - ограничение - узкополосная фильтрация).

3. Исследовано влияние внесистемных, внутрисистемных и внутриаппаратурных помех на вероятность правильного приема сигналов с ЧВК и показано, что при воздействии помех необходимо учитывать влияние эффекта подавления.

4. На базе исследования эффекта подавления сигналов в приемном устройстве предложены два метода улучшения характеристик приемных устройств: а) временной, использующий взаимосвязь времени задержки сигналов с ЧВК и времени расстановки между импульсами; б) частотный, основанный на выделении разностной частоты при наложении сигналов с разными частотами.

5. Предложены методы использования эффекта подавления для реализации схем подавления боковых лепестков диаграмм направленности антенн, формирования сигнала в том направлении, откуда пришел запрос (направленный ответ), обеспечение многоканальности с сохранением информации об амплитуде.

6. Разработан алгоритм адаптивной работы приемника сигналов с ЧВК и предложена схема вычислителя вероятности правильного приема.

7. Результаты исследований внедрены в приемники типа 11-8, 271.02, 4300604, выпускаемые в серийном производстве.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Михайлов А.А., Салахов М.К., Приемник с разделением наложившихся сигналов, а.с. №144322 от 2.10.78г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
2. Михайлов А.А., Способ подавления боковых лепестков, а.с. №144376 от 26.1.79г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
3. Михайлов А.А., Устройство защиты от имитационных сигналов, а.с. №15117&5 от 1.10.79г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
4. Михайлов А.А., Двухканальный приемник, а.с. №154810 от 1.10.79г., МКИ-2, HO4B1/10, ДСП.
5. Михайлов А.А., Приемник с ШАРУ, а.с. №151018 от 25.06.79г., МКИ-2, HO4B1/10, ДСП.
6. Михайлов А.А., Приемник с разделением сигналов, а.с. №164648 от 5.08.80г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
7. Михайлов А.А., Многочастотный приемник, а.с. №156169 от 12.02.80г., МКИ-2, HO4B1/10, ДСП.
8. Михайлов А.А., Файзуллин Ф.А., Приемник устройства с направленным ответом, а.с. №105884 от 31.10.80г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
9. Михайлов А.А., Файзуллин Ф.А., Приемник устройства с направленным ответом, а.с. №155716 от 31.10.80г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
10. Михайлов А.А., Влияние ШАРУ на параметры системы связи, ВРЭ, РЛТ, вып.12, г.Казань, 1980г., ДСП.
11. Михайлов А.А., Прием сигналов при воздействии активных помех, ВРЭ, РЛТ, вып.21, г.Казань, 1980г., ДСП.
12. Михайлов А.А., Особенности приема сигналов с ЧВК, ВРЭ, РЛТ, вып.9, г.Казань, 1981г., ДСП.
13. Михайлов А.А., Анализ условий подавления сигналов с ЧВК, ВРЭ, РЛТ, вып.14, г.Казань, 1981г., ДСП.
14. Михайлов А.А., Адаптивный прием сигналов в САЗО, ВРЭ, РЛТ, вып.17, г.Казань, 1981 г., ДСП.
15. Михайлов А.А., Трофимов А.А., Вафин Ш.И., Устройство подавления боковых лепестков, а.с. №176480 от 26.3.81г. МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
16. Михайлов А.А., Приемник с разделением сигналов, а.с. №176033 от 21.10.81г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
17. Михайлов А.А., Измерение шумовой помехи в САЗО, ВРЭ, РЛТ, вып.4, г.Казань, 1982г., ДСП.
18. Михайлов А.А., Пушкин В.И., Выбор критерия адаптации в САЗО, ВРЭ, РЛТ, вып.4, г.Казань, 1982г., ДСП.
19. Михайлов А.А., Пушкин В.И., Файзуллин Ф.А., Устройство с адаптацией к помехам, а.с. 194470 от 12.3.82г., МКИ-2, GO1S9/56, ДСП.
20. Михайлов А.А., Трофимов А.А., Устройство ПБЛ, а.с.197250 от 2.03.83г., МКИ-2, HO4B1/10, ДСП.
21. Михайлов А.А., Влияние ансамбля помех на ВППС, ВРЭ, РЛТ, вып.22, г.Казань, 1985г., ДСП.
22. Михайлов А.А., Влияние синусоидальной помехи на параметры САЗО, ВРЭ, РЛТ, вып.22, г.Казань, 1985г., ДСП.
23. Михайлов А.А., К вопросу построения адаптивной САЗО, ВРЭ, РЛТ, вып.19, г.Казань, 1987г., ДСП.
24. Михайлов А.А., К вопросу реализации ВВПС, ВРЭ РЛТ, вып.10, г.Казань, 1988г., ДСП.